Ciencia e Ingeniería
Revista Interdisciplinar de Estudios en Ciencias Básicas e Ingenierías.
Año 2015, Enero-Junio, Vol. (2) N° (1) ISSN 2389-9484.
Universidad de La Guajira, Facultades de Ciencias Básicas y Aplicadas e Ingeniería.
La Guajira-Colombia.
Revista en Línea http://revistas.uniguajira.edu.co/index.php/cei



MODELADO DEL CONTROL DE NIVEL Y PRESIÓN DE LOS DESGASIFICADORES DE LA EMPRESA ORINOCO IRON, S.C.S.

MODELLING THE LEVEL AND PRESSURE OF THE DESGAZZORS AT THE INDUSTRY ORINOCO IRON, S.C.S.

Sergio Velásquez[1*], Daniel Vasquez[1], Ronny Velásquez[1] y Eladio Lobo[2]

[1]Centro de Investigación de las Redes Neuronales y la Robótica CIRNAR-UNEXPO
[2]Orinoco Iron. Ciudad Guayana, Bolívar 8050 Venezuela
sergiovelasquezg@gmail.com

.

Recibido: diciembre 12 de 2014 Aceptado: Abril 20 de 2015

RESUMEN

Este articulo presenta el modelado del control de nivel y presión de los desgasificadores de la empresa Orinoco Iron, S.C.S. La dificultad para la entonación de los lazos de control de los desgasificadores que se encuentran en la planta de tratamiento de agua del área de servicios de la empresa Orinoco Iron S.C.S. a causa de la configuración del proceso que tiene a los desgasificadores funcionando en forma paralela, ha despertado el interés de dar con la solución que permita modelar de forma exitosa esos equipos para después proceder a realizar el respectivo control de sus parámetros de entrada. Es por eso que se desarrolla este proyecto en donde se diseña el modelo ideal de un desgasificador, los modelos reales de estos desgasificadores y se realiza una interfaz en Matlab dirigida a usuarios. Los desgasificadores son equipos que remueven gases del agua de alimentación a calderas debido a que estos gases pueden ser altamente corrosivos en los circuitos de vapor. Esta investigación finalizó con resultados favorables en el tratamiento simultáneo de las variables y las variaciones que estas presentan en el tiempo.

Palabras Clave: Desgasificador, Nivel, Presión, Válvula, Matlab

ABSTRACT

This paper presents modeling level control and pressure degasser company Orinoco Iron, SCS The difficulty of intonation of the control loops of the degassing found in the Water Treatment Plant service area of the company Orinoco Iron SCS because of the configuration process with the degassing running in parallel, he has aroused the interest of finding the solution that allows successfully model these teams then proceed to the respective control input parameters. That's why this project where the ideal model of a degasser is designed, the actual models of these getters and Matlab interface aimed at users is developed. Degassers are devices that remove gases from boiler feed water because these gases may be highly corrosive steam circuits. This research ended with favorable results in the simultaneous treatment of variables and changes that occur in these time.

Keywords: Desgazzor, Level, Pressure, Valve, Matlab.

I. INTRODUCCIÓN

El concepto de desgasificadores siempre ha estado presente en las empresas que trabajan con calderas, tambores de vapor, entre otros para evitar corrosión en sus tuberías. Orinoco Iron S.C.S. implementó estos equipos en 1973, cuando esta empresa fabricadora de Briquetas daba sus primeros pasos. La implementación de estos equipos se realizó de forma paralela, dándoles la propiedad de vasos comunicantes (Rodríguez, y Requena, 2006).

Un desgasificador es un equipo que remueve O_2 (aire) y otros gases del agua de alimentación a calderas ya que el oxígeno y otros gases son altamente corrosivos en los circuitos de vapor. Los desgasificadores permiten extraer el oxígeno disuelto, precalentar el agua de alimentación y además a almacenar agua de alimentación. Por esta razón, la investigación sobre el tema es de trascendental importancia, para poder conocer aún más a fondo el comportamiento y las características de estos equipos. Entre estas características se pueden mencionar, su temperatura de trabajo, su presión de trabajo, su balance de masa y energía, entre otros (Kenneth, 2005)

En este artículo, el objetivo principal es modelar los desgasificadores ubicados en la planta de tratamiento de agua del área de servicios de Orinoco Iron S.C.S. Ciudad Guayana, Estado Bolívar, Venezuela; con interfaz dirigida a usuarios en Matlab.

II. DESARROLLO

El funcionamiento de los modelos e interfaz de usuario que se realizarán, se resumen en tres fases: entradas, para recibir las características iniciales y deseadas de las variables; procesamiento, donde se calculan el comportamiento de las variables; y salidas, para mostrar las gráficas de las variables calculadas. Figura 1.

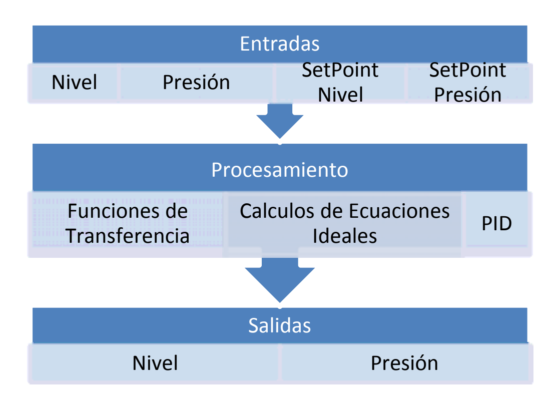


Figura 1. Diagrama de Bloques del diseño del modelado de un desgasificador.

1. Requisitos del Diseño

Los desgasificadores de Orinoco Iron S.C.S., poseen las siguientes características y parámetros de entrada y salida, según el personal de Orinoco Iron S.C.S, los planos de los equipos y algunos datos obtenidos por el DCS (Kenneth, 2005):

-*Agua de entrada*, con una temperatura de 52 °C y una presión de 2,4 bar. Utiliza una válvula Masoneilan, Modelo 33-37122 / 4700E / 77-40 y de tamaño 100 DN (Corporation, 2000).
-*Vapor de Entrada*, con una presión de 2,5 bar y un flujo de 3,58Kg/s aproximadamente. Utiliza una válvula Masoneilan, Modelo 30-30241 / 4700E / 77-4 y de tamaño 200 DN (Corripio, 1997).
-*Agua de Salida*, con temperatura de 101°C a 105°C y un flujo de 75 m^3/h = 19,915 Kg/s.
-*Agua del tanque del desgasificador*, con una temperatura de 101°C a 105°C, un nivel de 55% a 65% y una presión de 0,1 bar a 0,2 bar.
-*Dimensiones del tanque del cada desgasificador*, un diámetro de 2,8 m y una longitud de 9,25 m.

2. Diseño del Modelo Ideal de un Desgasificador

El Modelo Ideal que se diseñará, tendrá como entradas la presión inicial, nivel inicial, setpoint del nivel y setpoint de la presión y tendrá como salida el comportamiento del nivel y el comportamiento de la presión (Ogata, 2003). Figura 2.

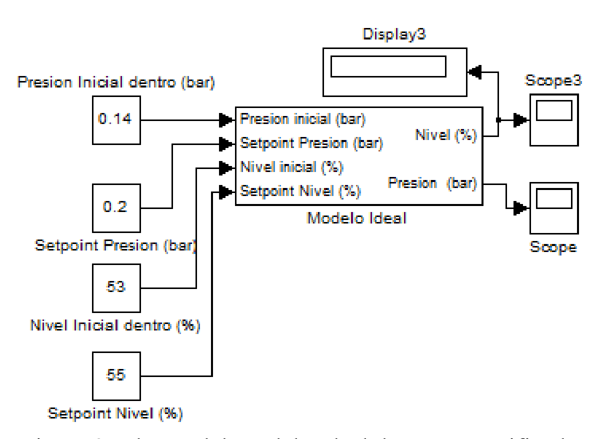


Figura 2. Bloque del Modelo Ideal de un Desgasificador

2.1 Etapa de Entradas

Esta etapa se conforma básicamente por las entradas que se manejarán en el modelo:
Presión Inicial del Agua de Entrada=4,5 bar
Presión Inicial del Vapor de Entrada=2,4 bar
Apertura de la Válvula del Vapor de Entrada=[0,1;0,9]
Apertura de la Válvula del Agua de Entrada=[0,1;0,9]
Densidad Inicial del Sistema
Diámetro del tanque del desgasificador=2,8m
Longitud del tanque del desgasificador=9,25m

2.2 Etapa de Procesamiento

Esta etapa se conforma por el procesamiento de las entradas que se manejarán en el modelo para así conseguir las salidas. El modelo del desgasificador considera los siguientes procesos físicos (Corripio, 1997):

En la fase de saturación, el vapor y el agua están en equilibrio. Hay la misma presión en la sección de desgasificación y en el tanque del desgasificador.

El proceso de desgasificación es determinado exclusivamente por el proceso de calentamiento del agua.

Existe una variación del nivel del tanque del desgasificador, como un efecto de la entrada y salida de los flujos dentro del equipo.

Es importante destacar que el modelo ideal no considera lo siguiente: Los efectos de los gases no condensables, La variación de concentración de gases en el vapor, Las pérdidas de calor en las paredes del desgasificador, La masa del venteo debido que al ser muy pequeña es prácticamente despreciable.

2.2.1 Ecuación de la Conservación de la Masa

La Conservación de la Masa de un desgasificador viene dada por la siguiente ecuación (Corporation, 2000 yVelásquez, 2014):

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{D_S + D_W - D_O}{V} \qquad (2)$$

Dónde:

ρ = Densidad del sistema [kg/m3]
V= Volumen total del desgasificador [m3]
D_S= Flujo de Vapor [kg/s]
D_w= Flujo del Agua de entrada [kg/s]
D_o= Flujo de salida [kg/s]
t= Tiempo [s]

2.2.2 Ecuación de la Conservación de la Energía

La Conservación de la Energía de un desgasificador viene dada por la siguiente ecuación (Corporation, 2000 yVelásquez, 2014):

$$\frac{d(u)}{dt} = \frac{D_S \cdot h_S + D_W \cdot h_W - D_O \cdot h_O - V \cdot u \cdot \frac{d\rho}{dt}}{\rho V} \qquad (3)$$

Dónde:

ρ = Densidad del sistema [kg/m^3]
V = Volumen total del desgasificador [m^3]
D_s = Flujo de Vapor [kg/s]
D_w = Flujo de Agua [kg/s]
D_o = Flujo de Salida [kg/s]
u = energía interna [J/kg]
h_s = Entalpía específica de Vapor [J/kg]
h_w = Entalpía específica de Agua [J/kg]
h_o = Entalpía específica de Salida [J/kg]
t = Tiempo [s]

2.2.3 Cálculo de la Presión

La presión de un desgasificador viene dada por la siguiente ecuación (Kenneth, 2005):

$$p = (h - u) \cdot \rho \qquad (3)$$

Dónde:
ρ = Densidad del sistema [kg/m3]
p= Presión dentro del desgasificador [Pascal]
ρ= Energía interna [J/kg]
h= Entalpía específica [J/kg]

2.2.4 Cálculo del Nivel

El nivel de un desgasificador viene dado por la siguiente ecuación (Corporation, 2000):

$$y = h_r \frac{\rho_{total} - \rho_s}{\rho_w - \rho_s} \quad (4)$$

Dónde:
y = Nivel del agua dentro del desgasificador [m^3]
h_r= Diámetro o Altura máxima del desgasificador [m^3]
ρ_{total} = Densidad total dentro del desgasificador [kg/m^3]
ρ_s = Densidad del agua dentro del desgasificador [kg/m^3]
ρ_w = Densidad del vapor dentro del desgasificador [kg/m^3]

3. Diseño de los Modelos Reales de los Desgasificadores A y B

El Modelo Real del Desgasificador A y el Desgasificador B tendrán como entradas la presión inicial, nivel inicial, setpoint del nivel y setpoint de la presión y tendrá como salida el comportamiento del nivel y de la presión. Figura 3.

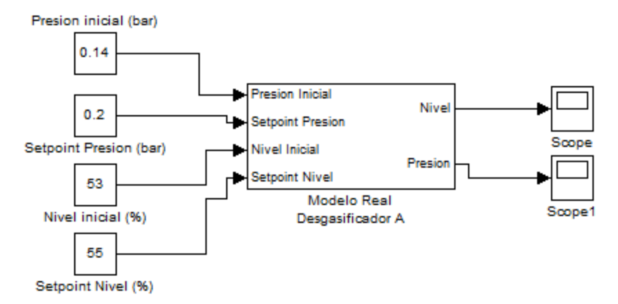


Figura 3. Bloque del Modelo Real del Desgasificador A

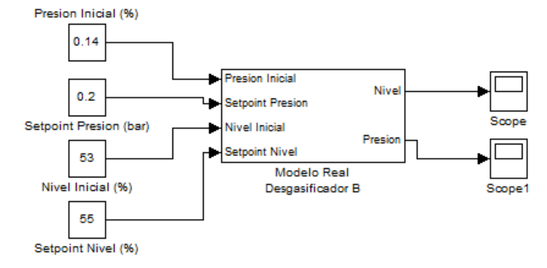


Figura 4. Bloque del Modelo Real del Desgasificador B

3.1 Etapa de Entradas

Esta etapa se conforma básicamente por las entradas que se manejarán en los modelos reales de los desgasificadores: Presión Inicial dentro del Desgasificador, Setpoint de la Presión dentro del Desgasificador, Nivel Inicial dentro del Desgasificador, Setpoint del Nivel dentro del Desgasificador.

3.2 Etapa de Procesamiento

Esta etapa se conforma por el procesamiento de las entradas que se manejarán en el modelo para así conseguir las salidas. En este caso, el procesamiento de entradas se realiza con cuatro funciones de transferencia en el dominio ‘s’. Se utilizan cuatro funciones de transferencia debido a que tanto el agua como el vapor afectan a las variables nivel y presión.

Debido a que los desgasificadores eran demasiado inestables, resultaba imposible realizar escalones unitarios para identificar las funciones de transferencia como sistemas normales multivariable, por lo que se optó a realizar la identificación con otro método. Básicamente, se observó el desgasificador como una “caja negra” con dos entradas y dos salidas. Para realizar la identificación de las funciones de transferencia se utilizó el método ARX (Opris,1997 y Padilla, 2008); para de esta manera conseguir las funciones de transferencia deseadas. Las funciones de transferencia son las siguientes:

La función de transferencia de la apertura de la válvula de agua hacia el nivel del Desgasificador A. La función de transferencia obtenida fue la siguiente:

$$N_2(s) = \frac{0.005518s + 0.01133}{s^2+0.1611s+0.006694} \qquad (5)$$

La función de transferencia de la apertura de la válvula de vapor hacia el nivel del desgasificador A. La función de transferencia obtenida fue la siguiente:

$$N_1(s) = \frac{0.03346s + 0.0008475}{s^2+0.1637s+0.0008002} \qquad (6)$$

La función de transferencia de la apertura de la válvula de vapor hacia la presión del desgasificador A (Giancolli, 1997). La función de transferencia obtenida fue la siguiente:

$$P_1(s) = \frac{9.456\cdot 10^{-5}s + 0.0001799}{s^2+2.336s+0.08007} \qquad (7)$$

La función de transferencia de la apertura de la válvula de agua hacia la presión del desgasificador A (Giancolli, 1997). La función de transferencia obtenida fue la siguiente:

$$P_2(s) = \frac{7.258\cdot 10^{-5}s + 0.0001399}{s^2+2.344s+0.0407} \qquad (8)$$

La función de transferencia de la apertura de la válvula de agua hacia el nivel del desgasificador B. La función de transferencia obtenida fue la siguiente:

$$N_2(s) = \frac{0.001438s + 0.003019}{s^2+0.2874s+0.002232} \qquad (9)$$

La función de transferencia de la apertura de la válvula de vapor hacia el nivel desgasificador B. La función de transferencia obtenida fue la siguiente:

$$N_1(s) = \frac{0.0003565s + 0.0007475}{s^2 + 0.2785s + 0.0008402} \qquad (10)$$

La función de transferencia de la apertura de la válvula de vapor hacia la presión desgasificador B. La función de transferencia obtenida fue la siguiente:

$$P_1(s) = \frac{1.457 \cdot 10^{-5}s + 3.511 \cdot 10^{-5}}{s^2 + 1.043s + 0.01061} \qquad (11)$$

La función de transferencia de la apertura de la válvula de agua hacia la presión desgasificador B. La función de transferencia obtenida fue la siguiente:

$$P_2(s) = \frac{5.741 \cdot 10^{-5}s + 1.371 \cdot 10^{-5}}{s^2 + 0.9929s + 0.003504} \qquad (12)$$

Al tener esto, se obtendrían cuatro entradas y cuatro salidas, pero como son en realidad dos salidas se toma el promedio de las salidas comunes, es decir, las salidas comunes de presión y las salidas comunes de nivel. Se utilizaron los datos del desgasificador A que se encontraban almacenados en el PHD desde el 27/05/15 00:00 hasta el 27/05/15 23:59 con un muestreo de 1 minuto. Se utilizaron los datos del desgasificador B que se encontraban almacenados en el PHD desde el 18/05/15 00:00 hasta el 18/05/15 23:59 con un muestreo de 1 minuto (Sarmiento, 2006 y Sears, 2004).

4. Diseño de la Interfaz dirigida a Usuarios

La interfaz dirigida a usuarios que se diseñará se realizará usando la herramienta GUIDE de Matlab. La interfaz deseada se puede apreciar en el figura 5.



Figura 5. Interfaz dirigida a usuarios en la herramienta GUIDE de Matlab

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se ha realizado la comprobación de las funciones de transferencia obtenidas de cada desgasificador, la comparación de los modelos reales con el modelo ideal, y la interfaz dirigida a usuarios para comprobar su correcto funcionamiento.

1. Comprobación de las Funciones De Transferencia Obtenidas de los desgasificadores A y B

Para verificar si las funciones de transferencia obtenidas del desgasificador A y B tienen una buena exactitud, se montaron en Simulink las funciones de transferencia obtenidas teniendo como entradas los datos de entradas de cada desgasificador (Apertura de la Válvula de Vapor y Apertura de la Válvula de Agua) y se realizó la comparación entre este resultado y los datos de salida (Nivel y Presión) de cada desgasificador. El resultado de la comparación entre N1 y el Nivel real del desgasificador A se puede apreciar en la figura 6.

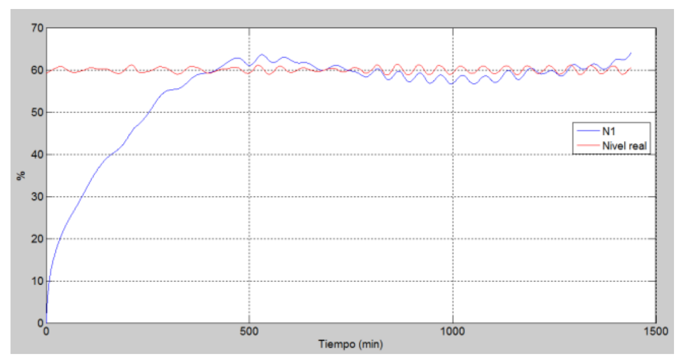


Figura 6. Comparación entre la salida N1 y el Nivel real del desgasificador A

Para apreciar la similitud entre los resultados obtenidos de N1 y los valores reales se procedió a calcular el error cuadrático medio desde el momento que alcanza el valor de 60% debido a que no es de interés para esta investigación el comportamiento mientras se realiza el llenado. El error cuadrático medio obtenido fue de 2,17021%. Lo que se considera bastante aceptable.

El resultado de la comparación entre N_2 y el Nivel real del desgasificador A se puede apreciar en la figura 7.

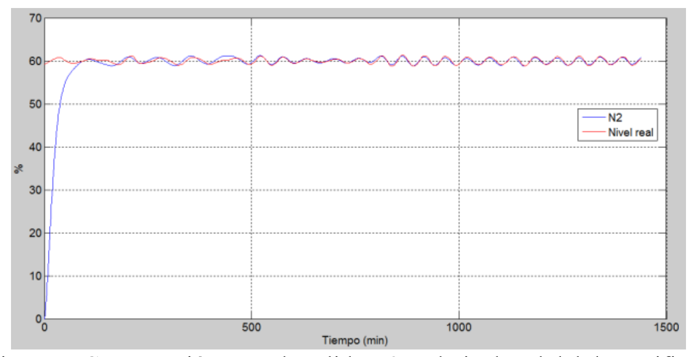


Figura 7. Comparación entre la salida N2 y el nivel real del desgasificador A

Para apreciar la similitud entre los resultados obtenidos de N2 y los valores reales se procedió a calcular el error cuadrático medio desde el momento que alcanza el valor de 60% debido a que no es de interés para este trabajo el comportamiento mientras se realiza el llenado. El error cuadrático medio obtenido fue de 0,99787%. Lo que se considera bastante aceptable.

El resultado de la comparación entre P1 y la Presión real del desgasificador A se puede apreciar en la figura 8.

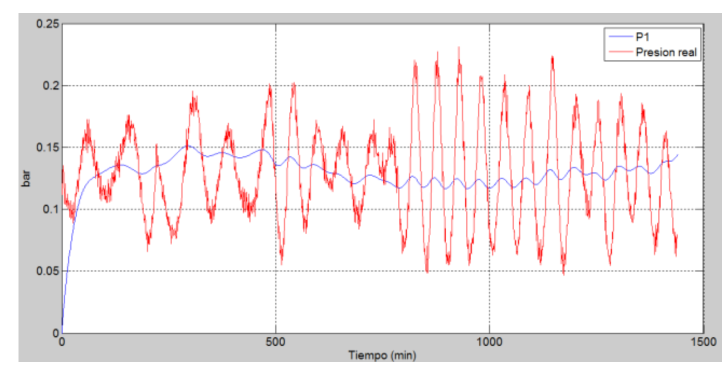


Figura 8. Comparación entre la salida P1 y la presión real del desgasificador A

Para apreciar la similitud entre los resultados obtenidos de P1 y los valores reales se procedió a calcular el error cuadrático medio desde el momento que alcanza el valor de 0,12 bar debido a que la presión real del desgasificador A no tiene como valor inicial 0 bar. Se coloca este valor debido a que este era el Setpoint que tenía el desgasificador A al momento de tomar los datos. El error cuadrático medio obtenido fue de 0,03929 bar. Lo que se considera bastante aceptable.

El resultado de la comparación entre P_2 y la Presión real del desgasificador A se puede apreciar en la figura 9.

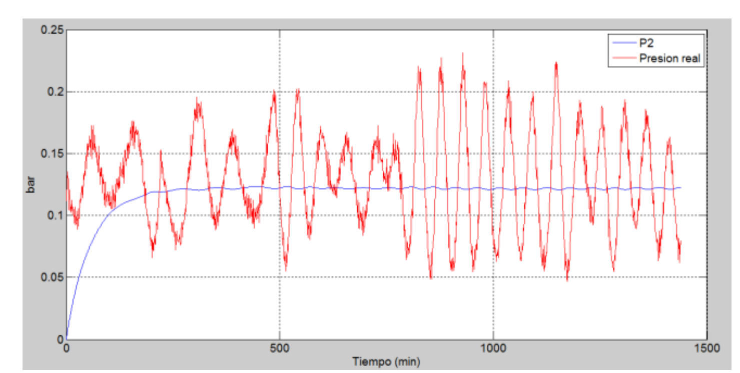


Figura 9. Comparación entre la salida P2 y la presión real del desgasificador A

Para apreciar la similitud entre los resultados obtenidos de P_2 y los valores reales se procedió a calcular el error cuadrático medio desde el momento que alcanza el valor de 0,12 bar debido a que la presión real del desgasificador A no tiene como valor inicial 0 bar. Se coloca este valor debido a que este era el Setpoint que tenía el desgasificador A al momento de tomar los datos. El error cuadrático medio obtenido fue de 0,03738 bar. Lo que se considera bastante aceptable.

Finalmente se realiza la comparación entre el promedio de las salidas comunes y las salidas reales del desgasificador A.

El resultado de la comparación entre el nivel real del desgasificador A y el promedio de la salida de $N_1 \; y \; N_2$ se puede apreciar en la figura 10.

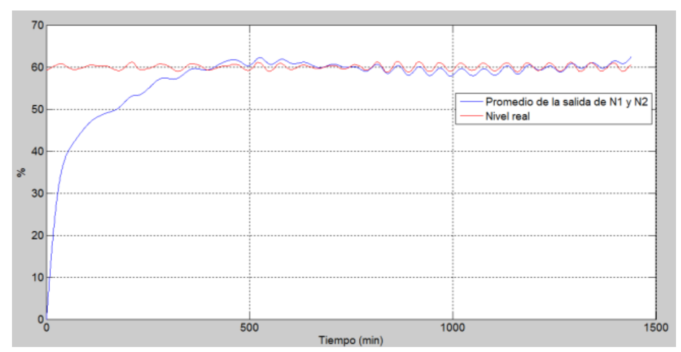


Figura 10. Comparación entre el nivel real del desgasificador A y el promedio de la salida de N_1 *y* N_2.

Para apreciar la similitud entre los resultados obtenidos del promedio de la salida de N_1 *y* N_2 y los valores reales se procedió a calcular el error cuadrático medio desde el momento que alcanza el valor de 60% debido a que no es de interés para este trabajo el comportamiento mientras se realiza el llenado. Se coloca este valor debido a que este era el Setpoint que tenía el desgasificador A al momento de tomar los datos. El error cuadrático medio obtenido fue de 1,27295%. Lo que se considera bastante aceptable.

El resultado de la comparación entre la presión real del desgasificador A y el promedio de la salida de P_1 *y* P_2 se puede apreciar en la figura 11.

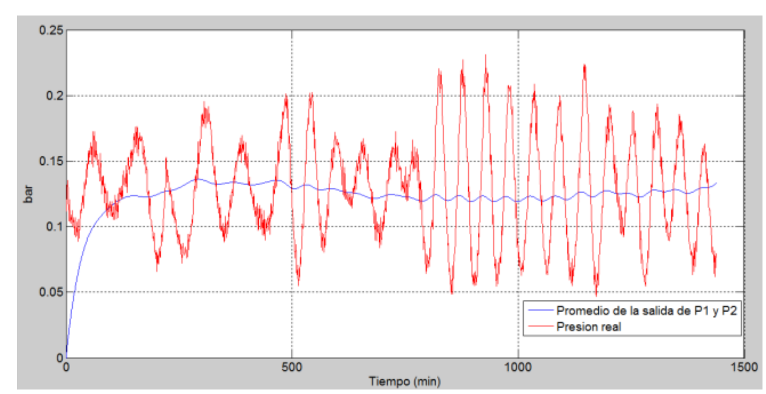


Figura 11. Comparación entre la presión real del desgasificador A y el promedio de la salida de P_1 *y* P_2.

El resultado de la comparación entre N_1 y el Nivel real del desgasificador B se puede apreciar en la figura 12.

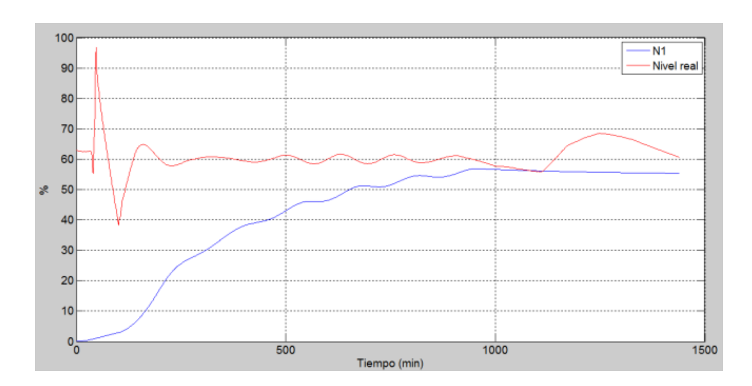


Figura 12. Comparación entre la salida N1 y el Nivel real del desgasificador B

Para apreciar la similitud entre los resultados obtenidos de N_1 y los valores reales se procedió a calcular el error cuadrático medio desde el momento que alcanza el valor de 50% debido a que no es de interés para este trabajo el comportamiento mientras se realiza el llenado. El error cuadrático medio obtenido fue de 5,65872%. Lo que se considera bastante aceptable.

El resultado de la comparación entre N_2 y el Nivel real del desgasificador B se puede apreciar en la figura 13.

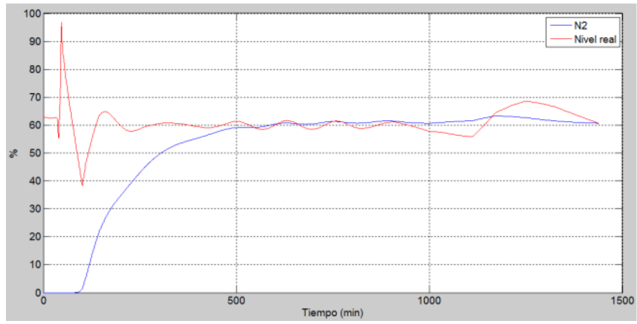


Figura 13. Comparación entre la salida N_2 y el Nivel real del desgasificador B

Para apreciar la similitud entre los resultados obtenidos de N2 y los valores reales se procedió a calcular el error cuadrático medio desde el momento que alcanza el valor de 60% debido a que no es de interés para este trabajo el comportamiento mientras se realiza el llenado. El error cuadrático medio obtenido fue de 2,27200%. Lo que se considera bastante aceptable.

El resultado de la comparación entre P1 y la Presión real del desgasificador B se puede apreciar en la figura 14.

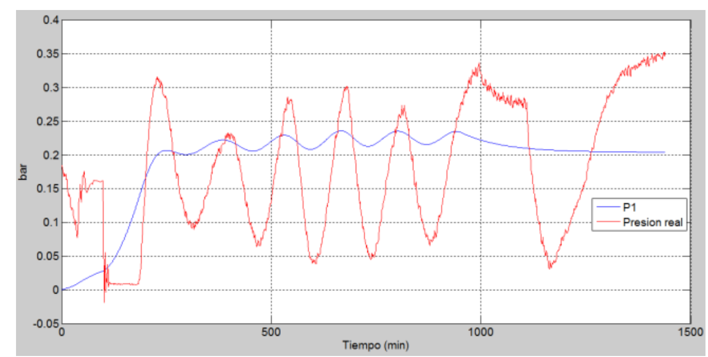


Figura 14. Comparación entre la salida P1 y el Nivel real del desgasificador B

Para apreciar la similitud entre los resultados obtenidos de P_1 y los valores reales se procedió a calcular el error cuadrático medio desde el momento que alcanza el valor de 0,20 bar debido a que la presión real del desgasificador B no tiene como valor inicial 0 bar. Se coloca este valor debido a que es cuando empieza aproximadamente a estabilizarse. El error cuadrático medio obtenido fue de 0,08585 bar. Lo que se considera bastante aceptable.

El resultado de la comparación entre P_2 y la Presión real del desgasificador B se puede apreciar en la figura 15.

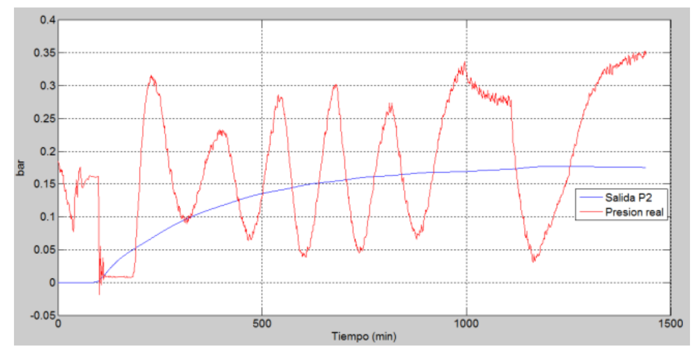


Figura 15. Comparación entre la salida P_2 y el Nivel real del desgasificador B

Para apreciar la similitud entre los resultados obtenidos de P1 y los valores reales se procedió a calcular el error cuadrático medio desde el momento que supera el valor de 0,01 bar. Se coloca este valor debido a que es cuando empieza a responder P2 y en ese momento se tiene la presión real del desgasificador B en 0 bar. El error cuadrático medio obtenido fue de 0,09847 bar. Lo que se considera bastante aceptable.

Finalmente se realiza la comparación entre el promedio de las salidas comunes y las salidas reales del desgasificador A.

El resultado de la comparación entre el nivel real del desgasificador B y el promedio de la salida de N_1 y N_2 se puede apreciar en la figura 16.

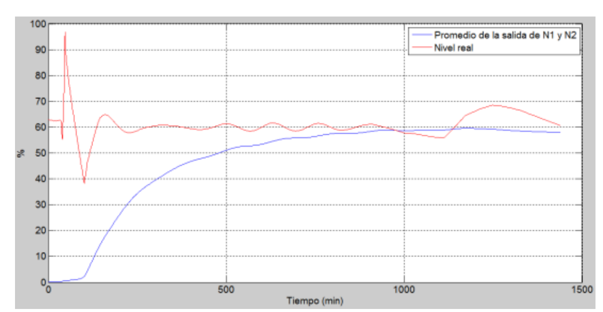


Figura 16. Comparación entre el nivel real del desgasificador B y el promedio de la salida de N_1 y N_2.

Para apreciar la similitud entre los resultados obtenidos del promedio de la salida de N_1 y N_2 y los valores reales se procedió a calcular el error cuadrático medio desde el momento que alcanza el valor de 50% debido a que no es de interés para este trabajo el comportamiento mientras se realiza el llenado. Se coloca este valor debido a que este era el Setpoint que tenía el desgasificador A al momento de tomar los datos. El error cuadrático medio obtenido fue de 4,49907%. Lo que se considera bastante aceptable.

El resultado de la comparación entre la presión real del desgasificador B y el promedio de la salida de P1 y P2 se puede apreciar en la figura 17.

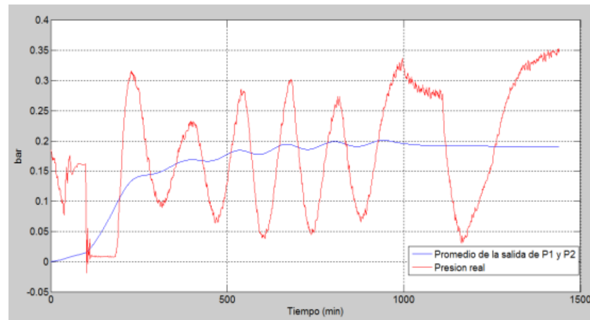


Figura 17. Comparación entre el nivel real del desgasificador B y el promedio de la salida de N_1 *y* N_2.

2. Comparación entre el Modelo Ideal y los Modelos Reales de los Desgasificadores A y B

Para verificar si los modelos reales de los desgasificadores A y B son válidos, se realiza una comparación entre cada uno de estos y el modelo ideal de un desgasificador.

Para la comparación se consideraron tres casos:

- Primer Caso: El nivel constante a 54% y la presión cambiando de 0,10 bar a 0,2 bar.
- Segundo Caso: La presión constante a 0,14 bar y el nivel cambiando de 54% a 56%.
- Tercer Caso: El nivel cambiando primero de 54% a 56% y luego la presión cambiando de 0,12 bar a 0,14 bar.

Para el primer caso del desgasificador A, la respuesta de la variable presión del desgasificador A se puede apreciar en la figura 18. Se puede notar que la presión ideal tiene una respuesta más lenta que la presión real, además de algunas oscilaciones. Es importante destacar que por la manera en que están ubicados los desgasificadores en el área de servicios de Orinoco Iron S.C.S., la válvula de vapor del desgasificador A esta ubicado más cerca de la Planta de Gas de Orinoco Iron S.C.S. Esto explica una respuesta relativamente más rápida.

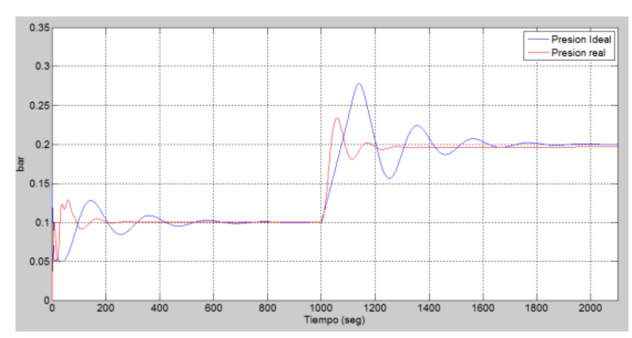


Figura 18. Comparación entre la presión real del desgasificador A y la presión ideal de un desgasificador cambiando la presión de 0,10 bar a 0,2 bar y manteniendo el nivel constante a 54%.

La respuesta del nivel para el primer caso del desgasificador A se puede apreciar en la figura 19. Se puede notar que existe una pequeña variación en el modelo real cuando en el momento que la presión cambia (T=1000 seg). Sin embargo se puede observar que se vuelve a estabilizar.

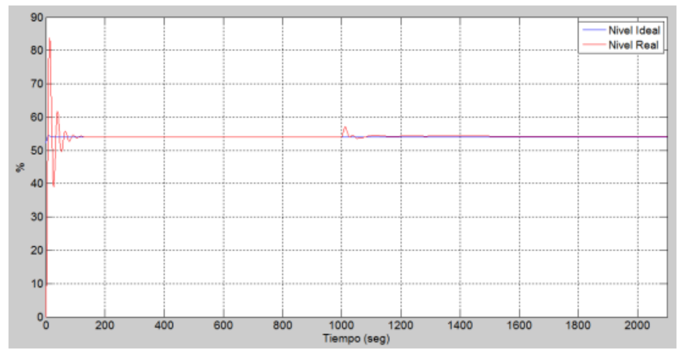


Figura 19. Comparación entre el nivel real del desgasificador A y el nivel ideal de un desgasificador cambiando la presión de 0,10 bar a 0,2 bar y manteniendo el nivel constante a 54%.

Para apreciar la similitud entre el modelo real del desgasificador A y el modelo ideal de un desgasificador se procedió a calcular el error cuadrático medio de la presión y del nivel desde el momento que se estabiliza por primera vez en 54% debido a que no es de interés para este trabajo el comportamiento mientras se realiza el llenado y que el modelo ideal ya contiene un valor inicial. El error cuadrático medio obtenido para la presión fue de 0,02566 bar y para el nivel fue de 0,27505%. Lo que se considera bastante aceptable.

Para el segundo caso del desgasificador A, la respuesta de la variable nivel se puede apreciar en la figura 20. Se puede notar que después de la estabilización del modelo real en el nivel inicial, el modelo ideal y el modelo real del desgasificador A responden con mucha similitud.

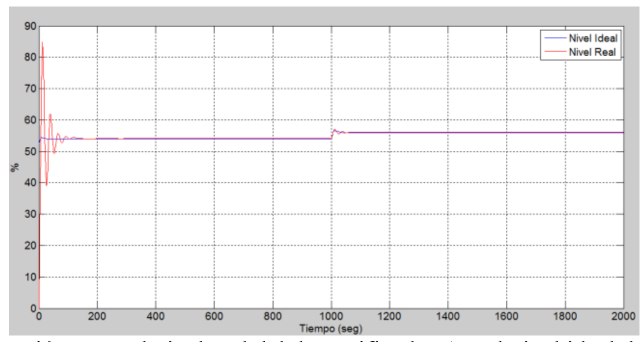


Figura 20. Comparación entre el nivel real del desgasificador A y el nivel ideal de un desgasificador cambiando el nivel de 54% a 56% y manteniendo la presión constante a 0,14 bar.

La respuesta de la presión para el segundo caso del desgasificador A se puede apreciar en la figura 21. Se puede notar que existe una variación en el modelo ideal en el momento que el nivel cambia (T=1000 seg), mientras que en el modelo real del desgasificador A existe una pequeña variación. En los dos casos la presión vuelve a estabilizarse.

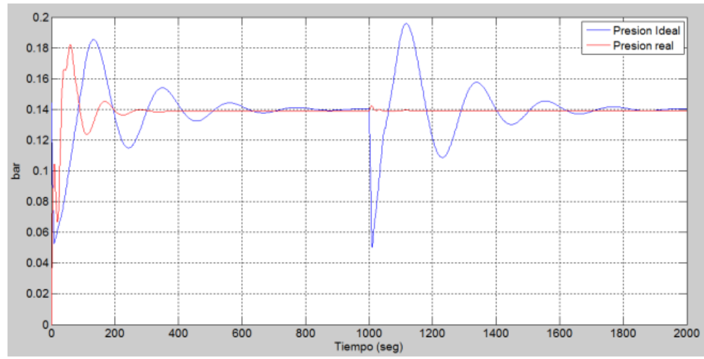


Figura 21. Comparación entre la presión real del desgasificador A y la presión ideal de un desgasificador cambiando el nivel de 54% a 56% y manteniendo la presión constante a 0,14 bar.

Para apreciar la similitud entre el modelo real del desgasificador A y el modelo ideal de un desgasificador se procedió a calcular el error cuadrático medio de la presión y del nivel desde el momento que se estabiliza por primera vez en 54% debido a que no es de interés para este trabajo el comportamiento mientras se realiza el llenado y que el modelo ideal ya contiene un valor inicial. El error cuadrático medio obtenido para la presión fue de 0,01603 bar y para el nivel fue de 0,08628%. Lo que se considera bastante aceptable.

Para el tercer caso del desgasificador A, la respuesta de la variable nivel se puede apreciar en la figura 22. Se puede notar que después de la estabilización del modelo real en el nivel inicial, el modelo ideal y el modelo real del desgasificador A responden con mucha similitud.

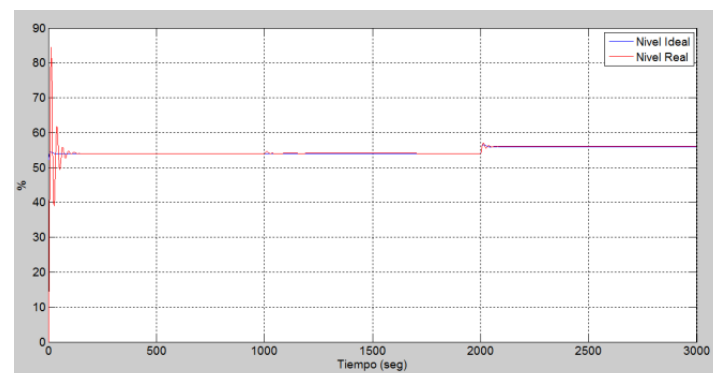


Figura 22. Comparación entre el nivel real del desgasificador A y el nivel ideal de un desgasificador cambiando el nivel de 54% a 56% y la presión de 0,12 bar a 0,14 bar.

La respuesta de la presión para el tercer caso del desgasificador A se puede apreciar en la figura 23. Se puede notar que existe una variación en el modelo ideal en el momento que el nivel cambia (T=2000 seg), mientras que en el modelo real del desgasificador A existe una pequeña variación. En los dos casos la presión vuelve a estabilizarse.

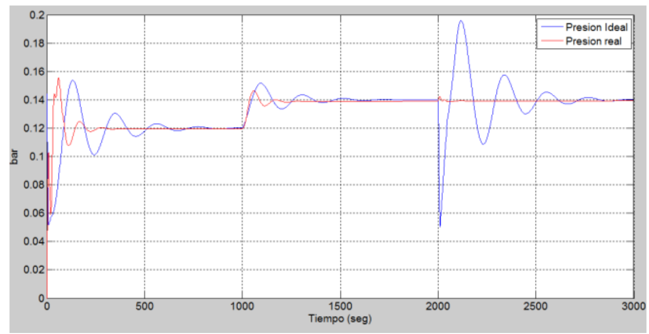


Figura 23. Comparación entre la presión real del desgasificador A y la presión ideal de un desgasificador cambiando el nivel de 54% a 56% y la presión de 0,12 bar a 0,14 bar.

Para apreciar la similitud entre el modelo real del desgasificador A y el modelo ideal de un desgasificador se procedió a calcular el error cuadrático medio de la presión y del nivel desde el momento que se estabiliza por primera vez en 54% debido a que no es de interés para este trabajo el comportamiento mientras se realiza el llenado y que el modelo ideal ya contiene un valor inicial. El error cuadrático medio obtenido para la presión fue de 0,01307 bar y para el nivel fue de 0,08107%. Lo que se considera bastante aceptable.

Para el primer caso del desgasificador B, la respuesta de la variable presión se puede apreciar en la figura 24. Se puede notar que la presión ideal tiene mucha similitud en el transitorio. Además, luego que se estabilizan y se realiza el cambio en el Setpoint de presión (T=1500seg), también se obtiene mucha similitud entre el modelo real del desgasificador B y el modelo ideal de un desgasificador.

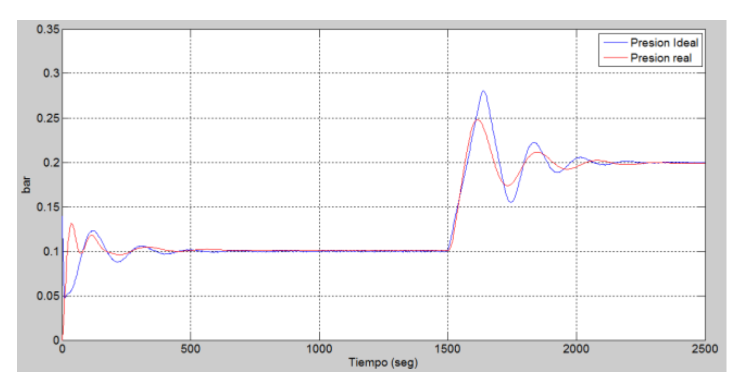


Figura 24. Comparación entre la presión real del desgasificador B y la presión ideal de un desgasificador cambiando la presión de 0,10 bar a 0,2 bar y manteniendo el nivel constante a 54%.

La respuesta del nivel para el primer caso se puede apreciar en la figura 25. Se puede notar que existe una pequeña variación en el modelo real cuando en el momento que la presión cambia (T=1500 seg). Sin embargo podemos observar que se vuelve a estabilizar.

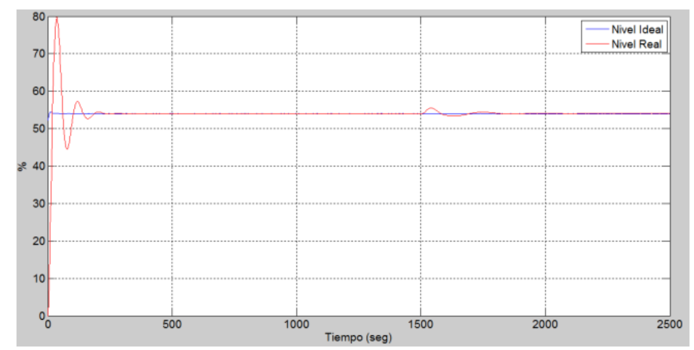


Figura 25. Comparación entre el nivel real del desgasificador B y el nivel ideal de un desgasificador cambiando la presión de 0,10 bar a 0,2 bar y manteniendo el nivel constante a 54%.

Para apreciar la similitud entre el modelo real del desgasificador B y el modelo ideal de un desgasificador se procedió a calcular el error cuadrático medio de la presión y del nivel desde el momento que se estabiliza por primera vez en 54% debido a que no es de interés para este trabajo el comportamiento mientras se realiza el llenado y que el modelo ideal ya contiene un valor inicial. El error cuadrático medio obtenido para la presión fue de 0,0062 bar y para el nivel fue de 0,02566%. Lo que se considera bastante aceptable.

Para el segundo caso del desgasificador B, la respuesta de la variable nivel se puede apreciar en la figura 26. Se puede notar que después de la estabilización del modelo real en el nivel inicial, el modelo ideal y el modelo real del desgasificador A responden con mucha similitud.

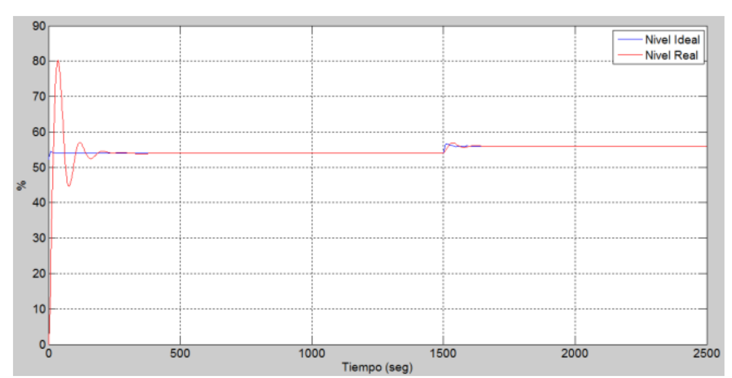


Figura 26. Comparación entre el nivel real del desgasificador B y el nivel ideal de un desgasificador cambiando el nivel de 54% a 56% y manteniendo la presión constante a 0,14 bar.

La respuesta de la presión para el segundo caso del desgasificador B se puede apreciar en la figura 27. Se puede notar que existe una variación en el modelo ideal en el momento que el nivel cambia (T=1500 seg), mientras que en el modelo real del desgasificador B existe una pequeña variación. En los dos casos la presión vuelve a estabilizarse.

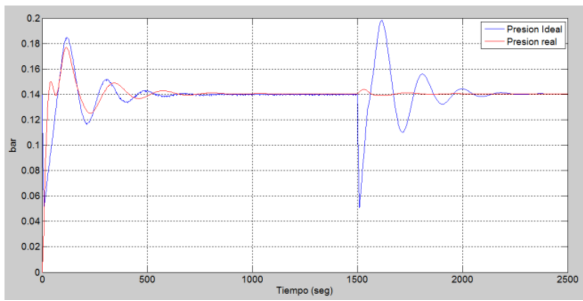


Figura 27. Comparación entre la presión real del desgasificador B y la presión ideal de un desgasificador cambiando el nivel de 54% a 56% y manteniendo la presión constante a 0,14 bar.

Para apreciar la similitud entre el modelo real del desgasificador B y el modelo ideal de un desgasificador se procedió a calcular el error cuadrático medio de la presión y del nivel desde el momento que se estabiliza por primera vez en 54% debido a que no es de interés para este trabajo el comportamiento mientras se realiza el llenado y que el modelo ideal ya contiene un valor inicial. El error cuadrático medio obtenido para la presión fue de 0,0100 bar y para el nivel fue de 0,3154%. Lo que se considera bastante aceptable.

Para el tercer caso del desgasificador B, la respuesta de la variable nivel se puede apreciar en la figura 28. Se puede notar que después de la estabilización del modelo real en el nivel inicial, el modelo ideal y el modelo real del desgasificador B responden con mucha similitud.

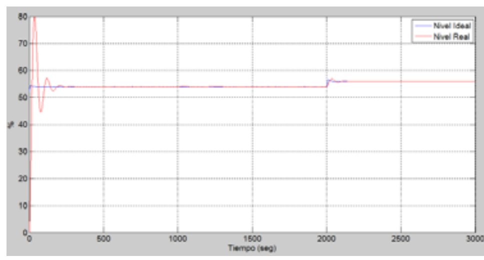


Figura 28. Comparación entre el nivel real del desgasificador B y el nivel ideal de un desgasificador cambiando el nivel de 54% a 56% y la presión de 0,12 bar a 0,14 bar.

La respuesta de la presión para el segundo caso se puede apreciar en la figura 29. Se puede notar que existe una variación en el modelo ideal en el momento que el nivel cambia (T=2000 seg), mientras que en el modelo real del desgasificador B existe una pequeña variación. En los dos casos la presión vuelve a estabilizarse.

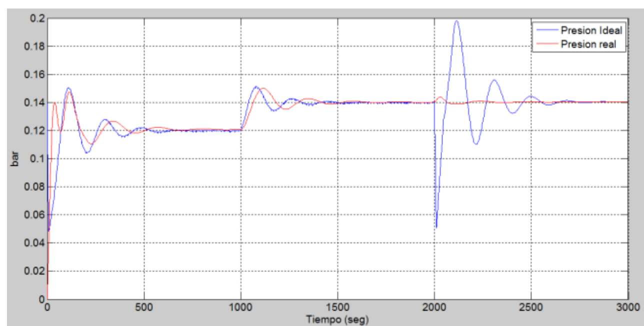


Figura 29. Comparación entre la presión real del desgasificador A y la presión ideal de un desgasificador cambiando el nivel de 54% a 56% y la presión de 0,12 bar a 0,14 bar.

Para apreciar la similitud entre el modelo real del desgasificador B y el modelo ideal de un desgasificador se procedió a calcular el error cuadrático medio de la presión y del nivel desde el momento que se estabiliza por primera vez en 54% debido a que no es de interés para este trabajo el comportamiento mientras se realiza el llenado y que el modelo ideal ya contiene un valor inicial. El error cuadrático medio obtenido para la presión fue de 0,0100 bar y para el nivel fue de 0,3016%. Lo que se considera bastante aceptable.

Al presionar el botón "Simular", se obtuvo una respuesta que se puede apreciar en la figura 30.

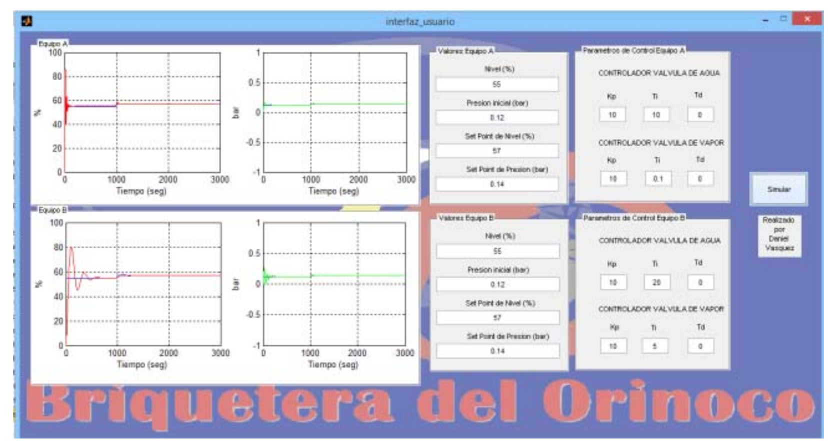


Figura 30. Resultado en la interfaz dirigida a usuarios al colocar parámetros actuales de los desgasificadores ubicados en Orinoco Iron S.C.S.

Se puede apreciar que los dos desgasificadores responden correctamente con los parámetros de control introducidos y las condiciones actuales y deseadas de cada desgasificador de Orinoco Iron S.C.S.

IV. CONCLUSIONES

El modelo ideal de un desgasificador es un conocimiento muy importante para todas aquellas empresas que trabajan con desgasificadores, debido a que permite ofrecerles un estudio completo y detallado del proceso que realiza un desgasificador

El modelo real de los desgasificadores de Orinoco Iron S.C.S. son herramientas importantes que permiten observar el comportamiento de estos desgasificadores dependiendo de las condiciones dadas.

Al realizar la comparación entre los modelos reales de los desgasificadores de Orinoco Iron S.C.S. y el modelo ideal de un desgasificador, se puede notar que estos equipos funcionan de manera casi excelente debido a su muy semejante comportamiento con el de un desgasificador ideal.

Finalmente, la Interfaz en Matlab dirigida a usuarios es de gran importancia para la empresa Orinoco Iron S.C.S. debido a que cualquier usuario, ya sea que conozca el software Matlab o no, puede trabajar con los desgasificadores sin ningún problema. Lo que permite que cualquier personal de Orinoco Iron S.C.S. pueda manipular esta

aplicación en pro de mejorar su conocimiento en estos equipos removedores de oxígeno y otros gases.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- CORRIPIO C..1997. Principles and Practice of Automatic Process Control (Vol. Segundo), Lousiana, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- CORPORATION. 2000. «Primera Ley de la Termodinámica,» [En línea]. Available: http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/thermo/firlaw.html.
-GRANADO ÁNGEL, ELÍAS AZÓCAR y SERGIO VELÁSQUEZ. 1997. Modelado No Lineal De Un Brazo Hidráulico De Dos Pistones,» *XI Jornadas de Investigación UNEXPO 2013,* 05-07 06 2013.
- GIANCOLLI D. C. 2006. FISICA, Principios con Aplicaciones", Mexico: Prentice-Hall.
- KENNETH C. 2005. Análisis y Diseño de Sistemas., Tercera ed., vol. 1, México:: Prentice Hall.
- OGATA K. 2003.Ingeniería de Control Moderna, Mexico: Prentice Hall.
-OPRIS, I. 1997. A deaerator model,» de *Recent Advances in Electrical Engineering*, Bucarest,
- Padilla D. P. 2008. Métodos de Identificación dinámica,» Cumana,
- MARKOS G.2009. Numerical Computing with Simulink, Vol. 1, Matlab,» MATLAB CENTAL,
-RODRIGUEZ M. 2006. Diseño y Evaluación de Separadores Bifásicos yTrifásicos.Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela
-SARMIENTO E. 2006. Diseño e Implementación de un controlador basado en Redes Neurales con Entrenamiento Rápido para Sistemas de Control 2 x 2, Barranquilla: Universidad del Norte , pp. 1-134.
- SEARS F. W. 2004. Fisica Universitaria, Mexico: PEARSON EDUCATION,
- VELASQUEZ SERGIO. 2014. Fundamentos de Analisis Numèrico, Guayana: Autores y Editores,
- TACHIRA U. N. 2005. PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA,». [En línea]. Available: http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-74.htm.